

論文審査の結果の要旨

論文提出者氏名 清水祐公子

序

本論文は6章からなる。第1章は序論にあてられ、第2章はエルミート及びラゲールビームの空間構造の解説、第3章は原子がレーザーから受ける力の半古典的解釈、第4章はラゲールビームによる原子の光トラップ実験、第5章は高フィネスの光微小共振器中での光-原子相互作用及びそれを用いた光パルス伝播の遅延・先駆効果を測定解析し、第6章は全体のまとめをしている。

具体的には、第2章でレーザー光の一般的な空間伝播パターンであるエルミートガウシアン、ラゲールガウシアンビームを解説し、第3章でそれらのビーム形状からレーザー光が原子に与える力を半古典的に導出している。もちろん光から原子が受ける力は、ドレスド原子の考え方をもとにした量子論的な手法で導くことも可能であるが、古典的な手法を用いればより直感的な解釈が得られやすいというメリットがある。

第4章においては、中空の光ビームであるラゲールガウシアンビームを用いた原子トラップの実験が述べられている。レーザー冷却の手法により予備冷却されたルビジウム原子集団をラゲールビームにより形成される光トラップに捕獲する。そして再びトラップから原子を解放した際にどれだけの原子が残っているかを光吸収測定により観測している。その結果、トラップ寿命として150ミリ秒という結果を得ており、これを、第3章で導出した原子が光から受け取る力による加熱効果を考えたシミュレーションと比較してよい一致を得ている。

第5章では、前章までの光の伝播パターンではなく、光共振器内で光電場と原子が強く結合した系における原子-光相互作用の実験的研究を記述している。単一原子と単一光子との相互作用はもっとも簡単な物理系であるが、最近になるまでその困難

さから実験的研究は行われてこなかった。実験技術の進展により、高反射率の鏡で光を閉じこめ長い間原子と相互作用させることが可能となった。その結果、光と原子とを十分長い間相互作用させ、その相互作用の情報を自然放射で失われるよりも早く引き出すといった、いわゆる強結合条件下で研究を遂行できるようになった。本章ではその理論的背景から具体的な実験手段を詳しく記述しており、さらに共振器内に原子があるときと無いときの光パルス伝播の違いを議論している。そして、条件により光パルスが真空中を伝わるよりも早く検出器に到達するよう見える、先駆現象、および非常にゆっくりと進んで検出器に到達する、遅延現象を観測している。さらに計算機によるシミュレーションも行い、実験結果が再現できることを確認している。

以上のように本研究は、光ビームの特徴的な形状、エルミートガウスビーム、ラゲールガウスビーム、微小共振器内に閉じこめられた光、などと原子の相互作用、運動制御を系統的に研究したものである。特に第 5 章で述べられている微小共振器と冷却原子による光パルスの制御は、将来の単一光子発生器、量子ビームスプリッター、量子ゲートへの応用に向けての大きな一歩であるといえる。

なお、本論文中の第 3 章の一部は、佐々田博之氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験および解析を行ったもので、論文提出者の寄与が大部分であると判断する。

よって本論文は博士(学術)の学位請求論文として合格と認められる。